주파수 1 GHz 이상대역의 방사방해파(EMI) 측정방법

하 덕 용

전파연구소
전파환경연구과

I. 서 론

국제적으로 정보사회 발전이 활발히 진행되는 가운데 컴퓨터와 같은 정보기술장치(ITE: Information Technology Equipment)의 제조기술은 크럭속도가 1 GHz에 근접하게 급속히 발전하고 이용, 보급이 계속 증대하고 있다.

그리고 일상생활의 편리함을 더하기 위해 전자파 에너지를 이용하는 각종 조리기구가 속속 개발, 보급이 늘고 있고 오래 전부터 주파수 2.45 GHz대를 이용하는 전자렌지(Microwave oven)는 이미 수억대가 세계 어디에서나 24시간 사용되고 있다는 사실을 상기하며, 이 ITE와 전자렌지의 방해파와 정보통신 서비스 보호 관계를 정리해 본다.

21세기초, 국제적으로 본격 진행되고 있는 정보통신 서비스는 제3세대 디지털 공중 이동통신을 비롯해 위성을 통한 각종 전파 서비스가 주파수 1 GHz이상의 대역에서 시작하고 있어, ITE장치와 전자렌지의 방해파로 부터 그 서비스의 신뢰성을 보호하는 일이 중요한 사회적 과제로 닦아왔다. 이에 1995년 국제 전기 통신 연합(ITU)은 국제적으로 계획된 디지털 통신·방송 서비스 계획을 아래와 같이 발표하고, 이 주파수대의 서비스를 보호하기 위해 ITE장치와 전자렌지의 방해파 규제를 위한 국제표준(IS)제정을 국제 전파장해 특별 위원회(CISPR)에 요청하였다.

국제적으로 계획된 통신방송계획요약(ITU)

- 1.5~1.8 GHz : 공중이동통신(PCS)
- 1.9 GHz : DECT(Digital European Cordless Telecom.)

  PHS(Personal Handy-phone Sys.)
- 1.8~2.2 GHz : 공중이동통신(IMT-2000)
- 2.5 GHz : New Satellite Mobile Service
- 2.2 GHz : 위성방송 Down Link(WRC report)

ITU의 요청을 받은 CISPR은 2000년 완성을 목표로 「주파수 1~18 GHz 범위의 방해파 허용치와 측정방법」에 대한 국제표준 제정을 위해 심의를 진행하여 현재 종료단계(FDIS)에 있으며, 2001년 부터는 1 GHz 이상 대역의 전파서비스를 보호하기 위한 방해파 규제가 국제적으로 시행될 예정이다.

현행의 각종 전기장치와 ISM기기의 방해파 관련 국제표준은 주로 1 GHz 이하 대역의 전파 서비스를 보호할 목적으로 1987 제정 이후 오랫 동안 시행된 것이나 1 GHz 이상의 주파수대역에 대하여는 이제 시작하는 것이므로 관계자들에게 잘 알려지지 않아 익숙하지 못한 면이 있다.

그리고, 1 GHz 이상 대역의 방해파 측정시스템은 현행 국제표준에도 정해진 것이 있으나 실제적으로 어떻게 구축할 것인지 자세히 알려진 것이 없다. 물론, 측정용 수신기는 스팩트럼분석기를, 안테나는 혼(Horn) 안테나를 사용할 것을 규정하고 있으나 이들의 자세한 규격이 없으므로 생산 현장이나 시험기관의 측정 관계자들의 입장에서는 정확한 측정을 위해서 스팩트럼 분석기, 안테나, RF 케이블 전치 증폭기(Pre-amplifier)의 특성 등을 어떻게 해야할 지 측정 실행 전에 해결할 문제가 많을 것이다.

그리고 ITU는 각종 전기장치, ISM기기 등의 방해

파 규제 대상 주파수를 계속 높여 나갈 것을 CISPR에 요청한 상태이므로, 1 GHz 이상의 높은 주파수대역에서 방해파 측정방법을 상세히 정하는 것도 매우 중요한 일이라 하겠다.

Ⅱ. 1 GHz 이상대역의 방해파 허용기준(Limit)

현재 CISPR에서 1 GHz 이상 주파수 대역의 방해파 관련 국제표준 개발 심의는 아래와 같은 세 개의 표준 담당 소위원회에서 진행 중이다.

- ○ CISPR/A소위원회(SC-A) : 방해파 측정기 규격, 측정방법 등 기본 표준개발
- ○ CISPR/B소위원회(SC-B) : 산업, 과학, 의료용(ISM) 고주파이용기기의 방해파 허용치와 측정방법 개발
- ○ CISPR/G소위원회(SC-G) : 정보기술장치(ITE)의 전파방해관련 허용치와 측정방법 개발

국제 표준 개발 심의가 종료단계에 있는 두 제품 표준 분야의 방해파 허용치는 표 1과 같다.

Ⅲ. 측정장치와 측정방법 (현행 국제표준과 심의문서를 근거로)

3-1 기본 표준(Basic Standard CISPR16-1, 16-2)

기본표준의 성격은 제품군 표준(Product Family Standards)에서 방해파 적부판정을 위해 기본적으로 쓰이는 측정기의 규격, 시험장의 적합성, 측정방법등을 정하는 것이다.

3-1-1 방해파 측정기(현행 CISPR16-1, 1993년판, A/244 FDIS 1999)

a) 1 ~ 18 GHz범위의 방해파 측정기는 스펙트럼 분석기로한다

〈표 1〉 국제표준 최종심의 단계

주파수 범위 (GHz)	방해파 허용치 (측정거리 3 m 에서의 전계강도 dBμv/m)		
	전자렌지(Microwave Oven)		정보기술장치(ITE)
	CW이외파	CW파	
1 ~ 2.3	92	70	50 * 최초 3년간은 경험 축적을 위해 70 으로 완화함
2.3 ~ 2.4	110		
2.4 ~ 2.5	-	-	
2.5 ~ 2.7	92	70	
2.7 ~ 5.725	92	70	심 의 중
5.725 ~ 5.825	-	-	
5.825 ~ 11.7	92	70	
11.7 ~ 12.7	73		
12.7 ~ 18	92		

주 : 주파수 2.4 GHz ~ 2.5 GHz와 5.725 ~ 5.825 GHz 범위는 ITU가 ISM 고주파기기 이용 Band로 지정한 대역이므로 이 대역에서 전자렌지의 방해파 허용치는 적용하지 않는다.

b) 스팩트럼 분석기의 분해능대역폭(RBW)은 1 MHz ± 10 % 임펄스 대역폭으로 정의

c) 검파기능은 기본적으로 첨두치(Peak) 검파로 하고 변동하는 신호에는 Maxhold 기능도 가능

d) 비디오대역폭(VBW)은 RBW이상(3배) Weighting 측정시는 신호의 변조 대역폭 이하로 한다.

e) 스프리어스 응답은 순간적으로 동조된 주파수의 응답보다 최소 40 dB 낮을 것

f) 9 kHz ~ 1000 MHz 범위에서의 차폐효과는 60 dB 이상일 것

g) 스펙트럼 분석기 입력단에 보호용 감쇠기가 있을 것

h) 최소 0.1초부터 10초까지 변화 가능한 소인(Sweep) 시간 기능 있고 파형 관측이 가능할 것

i) RF단과 IF단 모두에 가변 감쇠기 기능이 있을 것

3-1-2 측정거리

$2D^2/\lambda$ (D는 안테나 개구경)보다 먼거리

3-1-3 측정용 안테나

안테나는 직선편파 안테나일 것, 주 빔폭(-3 dB로 정의)이 피측정 기기(EUT : Equipment Under Test)를 포함할 수 있는 충분히 클 것

3-1-4 시험장(Test Site)

○ 기준시험장(Reference Test Site)은 자유공간 야외시험장 : 1 GHz 이하에 적합한 시험장 사용 가능. 단 자유 공간 조건은 만족시켜야 함.

○ 대체시험장(Alternative Test Site)은 자유공간 조건을 만족하는 임의 시험장 가능 : 5면에 전파 흡수재를 부착한 전자파무반사실(Semi-anechoic chamber)에 자유공간 조건 만족하도록 조치하면 가능

○ 자유 공간 조건 성립 방안 : EUT와 측정용 안테나 사이 대지면의 제1후 후레넬 존(1st Fresnel Zone)에 전파 흡수재를 깔면 대지 반사파의 영향을 제거하여 대지면으로부터 1 m 높이 이상에서 자유 공간 조건 성립이 가능

○ 1 GHz 이상의 시험장 적합성 평가 절차와 자유공간의 허용범위는 심의중임(자유공간 허용범위는 이상적인 시험장 감쇠량 기준 ±4 dB로 준비중).

3-1-5 측정방법(CISPR 16-2, CISPR/A/24/FDIS 1999)

a) 측정량

측정량은 방해파의 전계강도이고, 자유공간 원방영역에서 실효복사 전력을 3 m 거리에서 전계강도로 환산하는 식은 아래와 같다.

$E(dB\mu V/m) = EPR(dB\,pW) + 7.4$

3 m이외 거리 d에 대한 환산식

$Ed(dB\mu V/m) = EPR(dB\,pW) + 7.4 + 20\log[3/d/m]$

b) 측정거리

EUT로부터 3 m 떨어진 거리에서 측정하는 것을 기준으로 하나 실제 상황에서는 다른 거리에서 측정이 가능하다. 다만 주위잡음이 높거나 불요파의 간섭을 줄이기 위해서 측정거리를 짧게할 경우 자유공간, 원방영역 조건($2D^2/\lambda$)을 확보할 것.

대형 EUT를 측정 하기 위해 긴 측정거리에서 측정할 경우 안테나 주 빔폭내에 EUT가 포함되도록 할 것.

측정결과에 분쟁이 있을 경우 3 m 측정 거리에서

측정한 값을 기준으로 한다.

주 : 1GHz이상에서는 EUT의 방해파를 점파원에서 방사되는 것으로 간주하므로 원방영역 산출에 쓰는 $2D^2/\lambda$ 식에서 D는 EUT 크기가 아니고 안테나의 크기(개구경)이다.

c) EUT 배치는 가능한 1GHz 이하의 측정 배치와 같게 한다.

d) 측정절차

1) 측정용 안테나 주 빔폭(Main Beam Width)내에 EUT가 포함되도록 할 것.

① 측정용 안테나는 교정된 직선 편파 안테나를 사용할 것.

② 측정용 안테나의 빔폭(-3dB 점의 폭)은 알 수 있는 것일 것.

③ 측정용 안테나보다 EUT가 큰 경우, 안테나를 움직이거나 EUT를 움직여 가며, EUT하단, 상단, 좌·우측단을 고루 측정할 것.

④ 측정거리가 제한되거나, 그 측정거리에서는 측정용 안테나의 주 빔폭 내에 EUT가 완전히 포함되지 않는 대형 EUT일 경우, 그 한정거리에서 측정된 방해파가 최대라는 것을 분명히 하기 위해 먼 거리에서 추가로 측정 할 것이 필요하다.

주 : 측정하려는 EUT의 모든 측면에 걸쳐 안테나의 빔폭이 EUT를 포함하고 있다는 확인은 EUT의 외부로 늘어진 케이블의 1파장분(가장낮은 주파수인 1GHz를 기준)까지 포함되어야 한다.

2) 일반측정절차

① 어떤 EUT도 먼저 예비 측정을 하여 최대치를 지시하는 방해파의 주파수를 검출하고 그후에 최종 시험을 실시하라.

② 수평/수직 편파 모두 측정하고, 허용치를 제시한 거리(Limit Distance : 3m)에서 측정할 것을 권장한다.

정당한 사유가 있어 최종시험을 Limit Distance에서 못하고 다른 거리에서 한 경우, 분쟁이 있을시는 그 결과를 증명하기 위해 최초에 허용치를 제시한 Limit Distance에서 측정을 실시해야 한다.

③ 시험전에 허용치를 기준으로한 측정 장치의 감도를 결정할 것. 만약 전체적인 측정감도가 충분하지 않는 경우, 저잡음 증폭기(LNA), 고 이득 안테나를 사용하거나 근접한 거리에서 측정할 수 있다.

④ 근접 거리에서 측정 하거나 고 이득 안테나를 사용하는 경우에 안테나 빔 폭과 EUT의 크기 관계에 주의하고, 전치 증폭기(Pre-amplifier)를 사용할 경우 측정 시스템의 과부하 레벨에 대하여 주의할 것.

⑤ 높은 레벨의 신호가 존재하는 상황에서 약한 레벨의 방해파를 측정하려면 측정 장치의 회로가 타거나(Burn) 포화상태로 되지 않도록 보호 조치를 해야 한다. 이를 위해 대역통과 휠타(Band Pass Filter), 대역정지휠타(Band Stop Filter), 저역/고역 통과휠타((Low Pass/High Pass Filter)를 적절히 조합해서 사용하면 좋다. 그러나 휠타의 삽입손실(Insertion loss) 특성을 알고 사용하고, 측정보고서에 계산치가 포함돼야 한다.

주 : 비 직선 영향이 존재하는지 아닌지를 결정하기 위해 실무에서 쓸 수 있는 간단한 방법은 측정 장치의 입력단에 10dB짜리 감쇠기(Attenuator)를 삽입하고, 입력 신호인 고주파 진폭이 10dB 감쇠되는지 아닌지를 확인하는 것이다.

3) 예비측정(방해파의 최대화)

EUT의 모든 동작 모드에 대하여 아래의 절차로 최대 방해파를 찾을 것.

① 안테나 높이, 편파면, EUT의 방향을 고정시키고 측정하려는 주파수 범위를 관찰하라.

② 최대레벨을 지시하는 신호의 주파수와 레벨을 기록하라.

③ 최대치를 찾기 위해 EUT를 360° 회전시킨다. 다른 주파수에서 먼저 기록한 최대치 레벨보다 2 dB이상 높은 신호가 있다면 그 주파수와 레벨, EUT의 방위를 기록하고 최대치의 방해파 탐색을 계속하라.

주 : EUT를 회전시킬 수 없는 상황이라면 안테나를 EUT 주변으로 움직여 최대치를 탐색해도 된다.

4) 최대치의 방해파를 찾기 위해 안테나를 규정된 높이범위(1~4 m)로 이동하며 탐색하라. 만약 다른 주파수에서 먼저 기록한 최대치보다 2 dB 이상 높은 방해파가 있다면 그 주파수와 레벨, 안테나 높이를 기록하고 최대치 방해파 탐색을 계속하라.

5) 안테나 편파를 바꾸고 절차 ② ~ ④를 반복하라.

다른 편파에서 측정된 최대치 방해파와 비교하여, 두 개의 방해파중 레벨이 높은 쪽을 선택하여 기록하라. 이 신호가 EUT 지정 동작 모드에서 발생되는 최대치의 방해파이다.

6) EUT의 각종 동작 모드에 대한 결과가 시험되어야 한다.

모든 동작모드를 변경해 가며 상기의 절차 ②~④를 실시하고 확인하라.

7) 상기 절차 ① ~ ⑥까지를 끝낸 후 최종 방해파 시험에 사용하기 위해 최대값을 지시한 방해파 주파수와 그때의 EUT 최종 배치, 동작 모드를 기록한다.

8) 최종측정

① 예비측정에서 구해진 방해파 주파수, EUT 배치 동작 모드, 안테나 편파에서 최대 전계강도를 측정한다.

② 측정결과는 스팩트럼 분석기의 주파수 소인(Sweep)에 비례하는 시간(각 제품규격에서 정한 것)동안 Max Hold 기능으로 측정된 값이다.

3-2 ISM 고주파 이용기기의 방해파표준 (CISPR11, FDIS 1999)

(1) 주파수 1~18 GHz 범위의 방해파 허용치

a) Group 1 장치 : 허용치는 심의중

주 : 그룹1 장치의 방해파 허용치는 현재 정보 기술 장치의 1 GHz 이상에 대한 허용치와 같은 값을 예정하고 있다.

b) Group 2 장치

○ A급 장치 : 허용치는 검토중

○ B급 장치 : 400 MHz 이하에서 동작하는 것의 허용치는 심의중

400 MHz 이상에서 동작하는 ISM장치의 허용치는 그림 1과 같이 방해파의 성질에 따라 구분 적용한다.

(2) 측정기

CISPR16-1(기본표준)에서 정한 특성을 갖는 스팩트럼 분석기를 사용할 것.

(3) 시험장의 유효성

자유공간, 즉 대지면의 반사파가 측정결과에 영향을 주지 않는 조건으로 측정을 실시할 것.

적절한 시험장의 이상적인 자유 공간 조건에 대한 편차는 심의 중임.

CISPR16-2에서 정한 1 GHz 이하 주파수대역의 방해파 시험에 유효한 시험장을 1 GHz 이상의 대역에서도 사용할 수 있다.

다만, 전파흡수재를 EUT와 ANT사이에 설치해야한다.

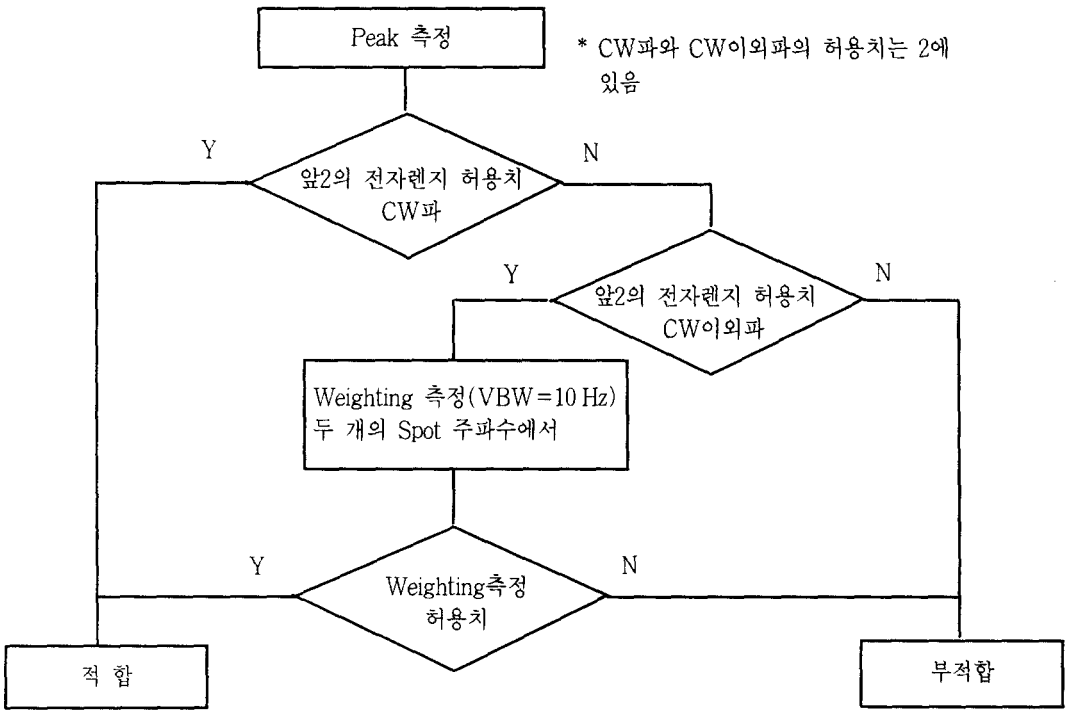


그림 1. 400 MHz 이상에서 동작하는 ISM 장치의 허용치

〈표 2〉 Weighting 허용치(그룹2, B급)

주파수(GHz)	허용치(3 m 거리측정, dBμV/m)
1 ~ 2.4	60
2.5 ~ 5.725	60
5.825 ~ 18	60

○ 주관청은 전파서비스 보호를 위해 낮은 허용치를 요구할 수 있다
○ RBW = 1 MHz, VBW = 10 Hz로 Weighting 측정을 실시
○ 허용치의 적합성을 점검하기 위해 두 개의 Spot 주파수에서 측정을 실시
- 1005 ~ 2395 MHz와 2505 ~ 17995 MHz 대역에서 중앙부근 주파수 각 1개씩
- 5720 ~ 5880 MHz 대역은 제외할 것
- 스팩트럼 분석기 Span은 10 MHz로 설정하고 측정할 것

(4) 측정절차
○ CISPR16-2에서 정한 일반 측정절차를 참고할 것.
○ 스팩트럼분석기의 Max Hold 기능으로 측정.
○ Weighting 측정은 스팩트럼 분석기의 Max Hold 기능과 대수모드(dBs로 표시한값)와 VBW=10 Hz로 측정한다.

3-3 정보기술장치(ITE)의 방해파표준(CISPR22, FDIS 1999)

(1) 방해파 허용치 : 앞 2항에 있는 표와 동일함.
(2.7 GHz ~ 18 GHz범위는 허용치를 심의 중임)

(2) 적용조건
a) A급 장치/B급 장치

500 MHz ~ 1 GHz범위에서 모든 방해파가 A/B급 허용치보다 6 dB 이상 낮고, 내부 방해원 주파수의 5체배 주파수가 1 GHz 이하이면 1 GHz 이상대역의 시험을 하지 않는다. 그외의 조건일 경우에는 1 ~ 2.7 GHz 범위에서 방해파 시험을 실시해야 한다.

b) 주파수 2 ~ 2.7 GHz 범위에서 모든 방해파가 규정한 허용치보다 6 dB 이상 낮고 내부 최고 방해원의 5체배 주파수가 2.7 GHz이하이면 2.7 GHz를 초과하는 주파수 범위의 시험을 할 필요가 없다(크럭 주파수 < 540 MHz) 그렇지 않으면 2.7 ~ 107 GHz 범위의 시험을 하고 허용치에 만족 여부를 확인하라.

c) 7 ~ 10.7 GHz 범위에서 모든 방해파가 허용치보다 6 dB 이상 낮고 내부 최고 방해파원이 2.14 GHz보다 낮은 경우 10.7 GHz 이상 대역의 측정은 불필요하다. 그렇지 않으면 10.7 ~ 18 GHz대역에서 시험을 실시해야 한다.

주 : 2.7GHz ~ 18GHz 대역의 허용치는 현재 심의중이므로 지금 실제 시험을 요구하지 않는다.

(3) ITE의 방해파 측정방법

a) 1 GHz 이상의 주파수대역에서 방사 방해파 측정은 첨두치(Peak) 검파 기능을 갖는 스팩트럼 분석기로 한다.(CISPR16-1 참조)

분해능대역폭(RBW)은 1 MHz 이고, 비디오대역폭(VBW)은 1 MHz 이상 RBW의 3배 이하로 할 것.

b) 시험장은 자유 공간 조건, 즉 대지면에서의 반사가 측정결과에 영향을 주지 않는 조건으로 측정을 실시할 것.

주 : 1. 자유 공간 조건을 만족하기 위해서는 EUT와 안테나 사이의 대지면 위에 전파흡수재를 설치하면 그 대지면으로부터 1 m 높이 이상에서 자유 공간 조건성립이 가능하다.
2. CISPR/A에서 심의중인 1 GHz 이상의 측정방법에 따라 CISPR22의 측정방법이 변경될 수 있다.

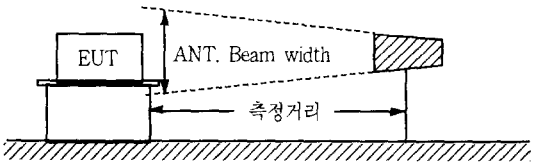
c) EUT의 동작조건

1 GHz 이하의 동작조건과 동일하게 배치, 동작시킨다.

d) 가능한 단독 설치형 장치도 탁상용 장치와 같이 지지대에 올려 놓아 대지 반사파의 영향을 받지 않게 측정한다.

주 : 이 조건은 대지면 가까운 곳에서 자유 공간 조건을 실현하기가 곤란 하기 때문이다.

e) EUT의 크기가 수신 안테나의 빔 폭과 같거나 작은 경우, 안테나를 EUT의 중앙높이에 고정하고 측정한다.



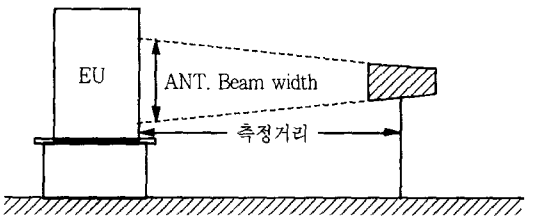
[그림 2] NT 고정높이 측정

f) EUT의 크기가 수신 안테나의 빔 폭보다 큰 경우, 안테나를 수평, 수직으로 스캔하여 EUT의 밑부분, 상단, 좌·우단이 안테나의 빔 폭내로 들도록 하고 측정한다.

g) 변동하는 방해파는 최소 15초간 관측한 후 측정한다.

h) 적절한 시험장의 조건은 이상적인 자유공간조건을 기준으로 ±4 dB로 한다.

i) 기준시험장은 평탄하고, 전파 반사물이 없는 야외시험장이며 적절한 자유공간 조건을 만족하는 대체시험장을 인정한다.



[그림 3] 대형 EUT의 높이 스캔 측정

Ⅳ. 1 GHz 이상 대역의 방해파 측정의 문제점

4-1 측정장치(스팩트럼 분석기)에 대하여

4-1-1 문제의 개요

측정용 수신기는 스팩트럼 분석기를 사용토록 정해져 있으나 방해파 허용치(Limit)와 관련하여 스팩트럼 분석기의 최대감도에 문제가 있는 것이 아래와 같은 이유로 판명되었다. 따라서 스팩트럼 분석기의 선택도 특성을 규정하는 일이 매우 중요하다는 것이 국제적 인식이다.

가) 스팩트럼 분석기의 최대감도는 그 기기의 잡음지수에 의해 좌우된다. 그러므로 측정시스템을 구축할 때는 수신안테나의 이득, 전치증폭기(Pre-amplifier)의 특성, 고주파 케이블의 길이 등을 충분히 고려하여야 한다.

나) 정보기술장치(ITE)에서 발생하는 방해파의 스팩트럼과 같이 스팩트럼 분석기의 통과 대역폭에 비하여 충분히 좁으면(협대역) 그 통과 대역 특성은 문제가 없다. 그러나 전자렌지의 방해파 스팩트럼 같이 스팩트럼 분석기의 통과 대역폭에 비해 아주 넓은 것은(광대역방해파) 측정시 스팩트럼 분석기의 통과 대역 특성이 방해파의 측정레벨에 영향을 받는다.

일반적으로 흔히 쓰이는 스팩트럼 분석기의 잡음지수는 제작회사와 기종에 따라 차이가 있다. 현재 1 GHz 이하에서 쓰이는 방해파 수신기의 잡음지수는 20 ~ 25 dB이나 1 ~ 18 GHz 범위의 스펙트럼 분석기의 잡음지수는 25 ~ 54 dB 정도로 방해파 수신기에 비해 내부잡음이 크다. 물론 일반적으로 주파수가 높게 되면 잡음 지수가 커지게 되는 것은 사실이다. 스팩트럼 분석기의 잡음지수는 제작회사의 카타로그에 나타나 있는 잡음 전력치를 근거로 아래식을 이용해 구할 수 있으니, 확인해 보기를 권한다.

$$NF(dB) = Np(dBm) + 174 - 10\log Bp(Hz) \quad (1)$$

Np = 잡음전력, Bp = 잡음전력측정시의 잡음대역폭 [-3 dB점]

4-1-2 측정시스템 전체의 잡음지수에 대하여

일반적으로 스팩트럼 분석기를 이용하여 1 GHz 이상의 대역에서 방해파를 측정하는 측정 시스템의 구성은 아래와 같다.

안테나의 잡음은 무시할 수 있다. RF케이블과 스팩트럼 분석기의 입력 저항에 의한 손실이 없는 경우 측정시스템 전체의 잡음지수(nFt)는 아래와 같은 식으로 표기할 수 있다.

$$nFt = nFa + (nFs - 1)/ga \quad (2)$$

여기서, nFa는 LNA의 잡음지수
nFs 는 스팩트럼분석기의 잡음지수
ga 는 저잡음 증폭기(LAN)의 이득

위와 같은 측정 시스템에서 스팩트럼 분석기의 잡음지수가 비교적 작거나, LNA의 이득이 충분히 큰 경우, 전체잡음지수 nFt는 LNA의 잡음지수에 의해 결정됨을 알 수 있다. 또 스팩트럼 분석기의 잡음지수가 큰 경우, 잡음지수를 개선할 수 있는 상한은 LNA의 이득으로 결정한다. 그 중간영역에서는 양쪽의 영향을 받으므로 최저 잡음지수와 적정한 이득을 갖는 LNA를 선택하는 것이 측정 시스템 구축시 매우 중요한 일이다.

4-1-3 최저 수신감도에 대하여

우리는 식 (1)에서 스팩트럼 분석기의 전체잡음지수를 알 수 있었다. 이것을 이용하여 잡음전력(Np)을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$Np(dBm) = NF(dB) - 174 + 10\log Bp(Hz) \quad (3)$$

또 잡음전압의 실효치(50 Ω 부하단)와 잡음전력(Np)관계는 아래와 같다.

$$V(dB\mu V) = Np(dBm) + 107 \quad (4)$$

식 (4)을 (3)에 대입하고, Bp(Np를 측정할 때의 대역폭)을 1 MHz로 하면 아래와 같이 된다.

$$V(dB\mu V) = NF(dB) - 7 \quad (5)$$

따라서, 측정 시스템의 최저 수신감도 E(dBμV/m)는 위에서 말한 50 Ω 부하단의 잡음전압 실효치(dBμV)와 안테나계수(AF)를 더한 값이 된다.

$$E(dB\mu V/m) = V(dB\mu V) + AF(dB) \quad (6)$$

우리가 실제 국제표준에 따라 방해파의 세기를 스팩트럼 분석기로 측정하기 위하여 최대치 보유기능(Max Hold)과 첨두치(Peak)검파 모드로 운용한다면 스팩트럼 분석기잡음(열잡음)의 파고율(최대치와 실효치의 비) 약 12 dB를 측정값에 더해 줄 필요가 있다. 또 측정의 정확성을 확보하기 위하여 허용치를 기준으로 6 dB 마-진이 요구된 경우 이 값도 더해줄 필요가 있다.

스팩트럼 분석기의 입력 VSWR을 개선하기 위하여 입력단에 감쇠기(Attenuator)를 포함시킨 경우, 이 감쇠량의 대부분에 상응하는 잡음레벨이 증가하는 것도 주의를 기울여야할 것이다.

4-1-4 종합선택도 특성에 대하여

스팩트럼 분석기의 종합선택도(RBW) 특성은 최종 중간 주파단(IF)의 선택도 특성에 의해 결정된다. 그러나 이 RBW의 정의는 제작회사마다 다르게 정의되어 있다. 어떤 회사는 -3 dB 점의 대역폭으로, 어느 회사는 -6 dB 점의 대역폭을 그 스팩트럼 분석기의 선택도(RBW) 특성으로 정의하고 있는 실정이다.

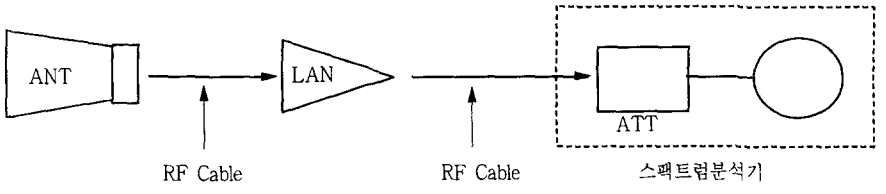
자기가 쓰고 있는 측정기를 실측해 볼 필요가 있다. 측정방법은 아래와 같다.

어떤 특정 주파수의 정현파를 S·G에서 스팩트럼 분석기에 입력시키고 스캔 모드로 동작시켜 그 출력 파형을 개인용 PC에 집어넣어 대역 특성을 간단히 측정할 수 있다. 이때, S·G 출력은 -20 dBm, 측정주파수는 100 MHz 스팩트럼 분석기의 분해능 대역폭(RBW)은 1 MHz, 스팬(Span)은 10 MHz(= RBW × 10배)가 적정하다.

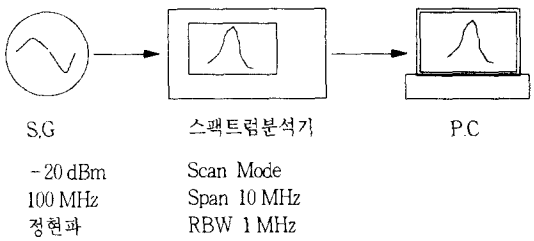
측정기의 RBW내의 위상특성이 선형적이라면 국제표준에서 심의 중인 -6 dB점의 대역폭(Bimp)은 1 MHz ± 10 % 이므로 0.9 MHz에서 1.1 MHz까지의 대역폭 범위가 허용될 수 있음을 알 수 있을 것이다.

4-2 안테나에 대하여

측정용 안테나는 혼(Horn) 안테나를 사용하도록 국제표준은 요구한다. 그러나 실제 측정할 때 혼 안테나의 이득을 어느 정도로 설정하고 측정시스템 전체의 감도를 정할 것인가 하는 문제에 봉착하게 된다. 또한 EUT 전체를 안테나의 주 빔 폭내에 포함하



[그림 4] 측정시스템 구성도



[그림 5]

기 위해 혼 안테나의 지향 특성을 어떻게 선택할 것인가. 그리고 측정 주파수 대역내에 강한 신호가 존재하여 측정계의 이득을 낮출 일이 발생한다면 혼 안테나의 Cut Off 주파수 특성을 이용할 수 있을 것인가 등 여러 가지 문제가 안테나와 관련하여 있다.

실제로 1 GHz 이상의 방사 방해파를 측정할 때 가장 중요한 것은 안테나 이득이다. 그 이해를 돕기 위해 안테나 계수의 개념을 정리해 보자.

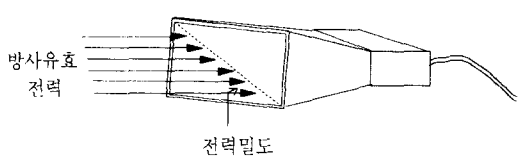
지금 전력밀도 P_e(w/㎡)의 장에 실효면적이 A_e (m^2)인 혼 안테나를 놓았다면, 이 안테나에 유기되는 유효전력 P_r(w)는 아래와 같이 정리된다.

$$P_r = P_e \times A_e \tag{7}$$

여기서 전력밀도와 그 점에 있어서의 전계강도 E와의 관계를 정리하면 아래식과 같다.

$$P_e = \frac{E^2}{120\pi} \tag{8}$$

따라서, 우리가 안테나의 실효면적 A_e를 안다면, 어떤 임의점에서의 전계강도로 부터 혼 안테나의 급



[그림 6] 혼(Horn) 안테나

전점 전력 즉, 혼 안테나의 임피던스로 부터 급전점 전압을 구할 수 있다.

예를 들면, 임의점의 전계강도가 40 μV/m 이고, 혼 안테나 실효면적이 0.05 m^2 일 때의 전력밀도를 구할 수 있다. 그 다음에 혼 안테나에 유기되는 유효전력을 구하여 혼안테나의 급전점에 있어서의 전압을 산출할 수 있다.

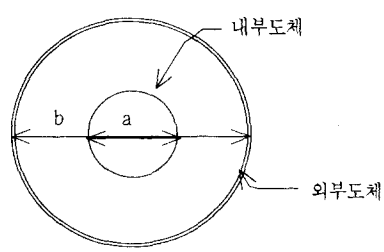
자기가 쓰고 있는 혼안테나에 대하여 안테나 계수를 구해 보고, 실제 맞는지 항상 확인해 볼 필요가 있다.

4-3 동축 케이블에 대하여

시중에는 각종 형식의 동축 케이블이 판매되고 있어 측정 목적에 맞는 동축 케이블을 선택할 수 있다. 현재는 기술이 발달하여 마이크로파 영역까지 동축 케이블로 측정이 가능하다. 동축 케이블은 손실이 적은 것을 사용해야 한다. 동축케이블은 내부 도체와 외부 도체의 크기(직경)로 특성 임피던스를 아래식으로 결정한다.

$$R_e = 60\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\ \log_e \frac{a}{b} \tag{9}$$

따라서, 측정자가 케이블을 돌려감아 다발로 사릴 때 꺾이는 각도에 주의를 해야 한다. 급격히 꺾이면 외부 도체의 간격이 좁아지므로 임피던스가 높아져 고주파 신호의 감쇠가 많아져 측정을 실패할 수 있다.



[그림 7]

4-4 전치 증폭기(Pre-amplifier)

스팩트럼 분석기의 잡음지수가 크거나, 혼 안테나의 이득이 낮기 때문에 규정된 방해파 허용치를 만족하는지 여부를 확인할 수 없을 때 전치증폭기를 혼(Horn) 안테나와 스팩트럼 분석기 사이에 설치하여 측정하려는 방해파 레벨을 증폭할 필요가 있다.

이때는 사전에 꼭 전치 증폭기의 이득, 주파수특성, 입력/출력단의 정재파비를 꼭 확인하고 사용해야 한다.

만약 측정시에 강한 입력신호가 전치 증폭기에 들어오면 전치 증폭기가 포화상태로 되어 이득이 떨어진다. 이런 때에는 Band Stop 휠타를 써서 강한 신호 성분을 낮춰줘야 한다. 실제로 이런 경우 혼 안테나의 동축-도파관 변성기에 있는 도파관의 Cut Off 특성을 이용하여 강한 신호 성분을 낮추는 방법이 많이 쓰인다.

전치 증폭기의 이득과 입 출력단의 정재파비 등의 특성은 구매시 제작자 카타로그에 기재돼 있다. 그러나 실제의 값과 차이가 많은 경우가 있으므로 실측을 하여 확인하고 올바른 값을 보정하여, 그 보정된 값을 이용하여 측정을 실시해야 한다.

V. 맺음말

1 GHz 이상의 높은 주파수대역에서의 방해파 측정은 이제 시작에 불과하며 향후는 계속 높은 주파수로 올라갈 전망이다.

1 GHz 이상의 대역에서 쓰이는 방해파 수신기인 스팩트럼 분석기는 그 값이 비싸기 때문에 간단히 구입하기가 쉽지 않다. 그래서 구입 단계에서부터 잡음지수 등을 잘 살펴 선택할 것이 필요하다. 방해파 측정을 담당하는 관계자는 잘못된 측정 시스템으로 인한 나쁜 결과에 대하여 측정의 불확실성이나 표준을 심의하는 사람들의 잘못만으로 책임 회피를 할 수 없을 것이다.

자기 시스템에 대하여 올바로 알아야 할 필요가 있다. 혼 안테나와 전치 증폭기는 교정을 하여 올바른 값으로 보정한다든가, 특히 주파수 응답 특성에 대하여는 구입시에 제작자에 요구하든가 하여 네트웍 분석기로 특성 확인을 꼭 해놓는 일이 매우 중요하다.

이상과 같이 CISPR에서 심의중인 국제표준(안)을 근거로 방해파 측정에 따르는 문제와 대처 방법에 대하여 기술하였다.

국제표준(IS) 자체의 모순이나 허용치의 적정성 등은 CISPR의 각 소위원회(Sub-committee)와 여기에 참여하는 각 국의 국내위원회(National committee) 몫으로 위임된 것이므로 여기서는 일반적으로 널리 쓰이는 방해파 측정방법만을 국제표준 심의(안)을 기준하여 공통된 문제점들을 살펴보았다.

관계자들에게 도움이 되기를 바란다.

≡필자소개≡

하 덕 용

정보통신부 전파연구소 전파환경연구과 환경분석연구 담당